

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-169020

(P2005-169020A)

(43) 公開日 平成17年6月30日(2005.6.30)

(51) Int.Cl.⁷A61B 5/145
A61B 5/0245

F 1

A61B 5/14 310
A61B 5/02 310Bテーマコード(参考)
4C017
4C038

審査請求 未請求 請求項の数 37 書面 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2003-436312 (P2003-436312)
(22) 出願日 平成15年12月5日 (2003.12.5)(71) 出願人 502438433
有限会社ティ・エス・イー
大阪府大阪市北区西天満3丁目14番9号
(72) 発明者 小坂 武
大阪府堺市樋塚台3丁41番17号
F ターム(参考) 4C017 AA09 AA12 AB02 AC26 BB12
BC11
4C038 KK01 KL05 KL07 KN02 KN04

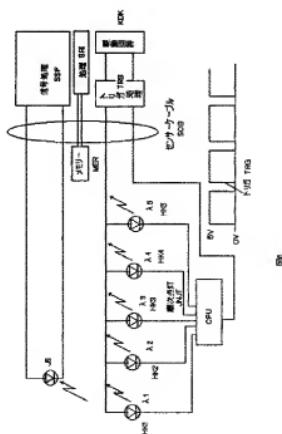
(54) 【発明の名称】 血中酸素飽和度検出装置

(57) 【要約】

【課題】 動脈の脈動変化量、静脈の脈動変化量、細胞および光学的変化量 等を考慮して、動脈の酸素飽和度を正確に算出する。

【解決手段】 ヘモグロビンの吸収分光域の5個、4個、或いは2個の生体分光信号を用いて、演算式に従って算出する。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

【請求項 2】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置 10

【請求項 3】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文(242)式から(251)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

【請求項 4】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波 20、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

【請求項 5】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

【請求項 6】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文(242)式から(251)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置 30

【請求項 7】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出し、動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置において、生体に対して積分球と実効的等価照射手段を有する装置。

【請求項 8】

可視光或いは赤外光域のヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて、動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、心拍数等を算出する非侵襲パルスオキシメーターにおいて、生体に対して積分球と実効的等価照射手段を有する装置。

【請求項 9】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、生体接触部において多発光素子の印加電圧回路を順次切換えて、測定器本体から多発光素子に到る印加電圧供給線の数を簡素化する手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置 40

【請求項 10】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、生体接触部で多発光素子を順次切換える手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置 50

【請求項 1 1】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 1 2】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置 10

【請求項 1 3】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文(242)式から(251)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 1 4】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、生体接触部において多発光素子の印加電圧回路を順次切換えて、測定器本体から多発光素子に到る印加電圧供給線の数を簡素化する手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置 20

【請求項 1 5】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、生体接触部において多発光素子の印加電圧回路を順次切換えて、測定器本体から多発光素子に到る印加電圧供給線の数を簡素化する手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 1 6】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、積分球と実効的等価照射手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置 30

【請求項 1 7】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、積分球と実効的等価照射手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置 40

【請求項 1 8】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、積分球と実効的等価照射手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文(242)式から(251)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 1 9】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分 50

光信号を用いて本文（27）式から（79）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 20】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文（141）式から（172）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 21】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文（242）式から（251）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度¹⁰、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 22】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文（27）式から（79）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 23】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文（141）式から（172）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置²⁰

【請求項 24】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文（242）式から（251）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

30

【請求項 25】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、生体接触部において多発光素子の印加電圧回路を順次切換えて、測定器本体から多発光素子に到る印加電圧供給線の数を簡素化する手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文（27）式から（79）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

【請求項 26】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、生体接触部において多発光素子の印加電圧回路を順次切換えて、測定器本体から多発光素子に到る印加電圧供給線の数を簡素化する手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文（141）式から（172）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置⁴⁰

【請求項 27】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文（27）式から（79）式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置

50

【請求項 2 8】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

【請求項 2 9】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文(242)式から(251)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

10

【請求項 3 0】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、生体接触部において多発光素子の印加電圧回路を順次切換えて、測定器本体から多発光素子に到る印加電圧供給線の数を簡素化する手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

20

【請求項 3 1】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、生体接触部において多発光素子の印加電圧回路を順次切換えて、測定器本体から多発光素子に到る印加電圧供給線の数を簡素化する手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

30

【請求項 3 2】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

30

【請求項 3 3】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

40

【請求項 3 4】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、生体信号にかかる電源、信号において無線伝達をする手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文(242)式から(251)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

40

【請求項 3 5】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、A P Dを用いて生体信号にかかる必要な信号を取り出する手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の5個の生体分光信号を用いて本文(27)式から(79)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波等を算出する装置

50

【請求項 3 6】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、APDを用いて生体信号にかかる必要な信号を取り出す手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の4個の生体分光信号を用いて本文(141)式から(172)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置
【請求項 3 7】

可視光或いは赤外光を用いて生体内部の生体信号を取り出すようにした装置において、反射光を用いて生体信号を取り出す手段を有し、積分球と実効的等価照射手段を有し、APDを用いて生体信号にかかる必要な信号を取り出す手段を有し、ヘモグロビンの吸収分光域の2個の生体分光信号を用いて本文(242)式から(251)式にいたる演算をして動脈中の酸素飽和度、動脈の脈波、静脈酸素飽和度、静脈の脈波 等を算出する装置
10

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

本発明は血中の成分検出装置に関する。

【背景技術】

動脈中の酸素飽和度を非侵襲的に計測する装置はすでにパルスオキシメーターとして商品になっている。測定部位については指先が多数をしめるが、指先は非常によく動き動脈の酸素飽和度の測定値に悪影響をあたえる。そこで比較的動きが鈍い頸、額などが候補になっている。又、生体の緊急時における酸素供給システムの優位性を考慮して指先より脳、心臓などより重要な計測の対象となる。それらを合わせて脳に近い額、顔面あるいは頭部で計測する、所謂反射光型が考案されすでに市販されている。これらは動脈の脈動を応用了した2つの分光センサーで信号処理して酸素飽和度の値を算出している。
20

【発明が解決しようとする課題】

問題は生体に起因するS/Nが悪く、どんな場合でも動脈の酸素飽和度が正確に計測できる、とはなってないことである。問題は、次のような場合に生じる。

人が立ってる状態の額から計測できる酸素飽和度と、寝ている状態の額から計測できる酸素飽和度が異なることである。状態によって値がとなるのは問題である。この原因は立っている状態では額には血の鬱積が生じないが、寝た状態では血の鬱積が生じ主に静脈血がたまり、近傍の動脈の脈動が静脈に脈動を与え、その結果静脈の酸素飽和度が動脈の酸素飽和度に悪影響を与えることによる。
30

又、指先あるいは足にセンサーを装着する場合には一つは体動に伴ってノイズが発生する問題であり、他はセンサーケーブルが生体に絡むとか負担を強いる問題である。体動問題は生体内の問題とセンサーの光学系に起因する問題に分けられる。

いずれにしてもこれらは悪影響をとり除くことが本発明の課題である。

【課題を解決するための手段】

はじめに、酸素飽和度を計測する原理から説明する。

生体内での光の振る舞いについて考察する。

図1にあるように、ある層中に粒子が均一に分布していて光散乱と光吸収がある場合の入射光、透過光、反射光の様子を考察する。血中の酸素飽和度などを扱う場合にはヘモグロビンが粒子となってKubelka-Munkの理論がこの図に適用される。

前方に進む光強度をI、後方に返ってくる光強度をJ、Sを散乱係数、Kを吸収係数とするとき次式が成立する。ただし分光波長はある1つの波長としている。

$$dI = -(K + S) \cdot I \cdot d\lambda + S \cdot d\lambda \quad (1)$$

$$dJ = +(K + S) \cdot J \cdot d\lambda - S \cdot d\lambda \quad (2)$$

これを解くと

$$I = A \cdot \exp(-\kappa y) + B \cdot \exp(-\kappa y) \quad (3)$$

$$J = A' \cdot \exp(\kappa y) + B' \cdot \exp(-\kappa y) \quad (4)$$

ここで

$$\kappa = \sqrt{(K_i(K_i + 2S_i))}$$

y は入射面から深さ (進行方向) に沿った距離で

A、B、A'、B' は境界条件により決定される。

今、 y が相当に距離を持っているとする。そのとき I、J は発散するのではなくある値になると考へてよい。なぜなら生体のなかで光強度が + 増幅或いは - 增幅される現象は観測されてない。すると実効的には

$$A = A' = 0$$

と考えてよい

次に I についてかんがえる。

10

$y = 0$ の時、I 0 とすると

$$I = I_0 \cdot \exp(-\kappa y) \quad \dots \quad (5)$$

がその答である。

次に図 2 のように層のなかを進行する場合を考える。

1 層の中では (5) 式がなりたつ。

2 層の中では 1 層と 2 層の境界面の I を I 1 とすると

$$I = I_1 \cdot \exp(-\kappa_2 \cdot y) \quad \dots \quad (6)$$

がなりたつ。ここで κ_2 は 2 層中の散乱と吸収係数で成り立つ定数であり y は 1 層と 2 層の境界面からの距離である。

I 1 は (5) 式から

20

$$I_1 = I_0 \cdot \exp(-\kappa_1 \cdot d_1) \quad \dots \quad (7)$$

ここで d_1 は 1 層の厚さである。

これを (6) 式に入れると

$$I = I_0 \cdot \exp(-\kappa_1 \cdot d_1) \cdot \exp(-\kappa_2 \cdot y) \quad \dots \quad (8)$$

同様に 3 層中では

$$I = I_0 \cdot \exp(-\kappa_1 \cdot d_1) \cdot \exp(-\kappa_2 \cdot d_2) \cdot \exp(-\kappa_3 \cdot y) \quad \dots \quad (9)$$

同様に n 層まで考えることができる。

ここで 3 層までモデルを考え、3 層からの透過光の強さを I とすると

$$I = I_0 \cdot \exp(-\kappa_1 \cdot d_1) \cdot \exp(-\kappa_2 \cdot d_2) \cdot \exp(-\kappa_3 \cdot d_3) \quad \dots \quad (10)$$

ここで

$$\kappa_i = \sqrt{(K_i(K_i + 2S_i))} \quad (i=1, 2, 3)$$

ここでこのモデルを指にあてはめる。1 層を動脈に 2 層を静脈に 3 層をその他細胞に、光学的なものは I 0 に相当すると考え、さらに各記号の意味を考える。

1 層の κ_1 は、動脈中のなかでの最大の巨大分子ヘモグロビンとしてよい。

ただし、K 1 は酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの合成されたものと考えられ、散乱係数 S 1 は K 1 よりはるかに大と考えられる。

$$\kappa_1 = \sqrt{(K_1(K_1 + 2S_1))} \quad \dots \quad (11)$$

変形して

$$\kappa_1 = \sqrt{((S_1 \cdot S_1) ((K_1 \cdot K_1) / (S_1 \cdot S_1) + 2 \cdot K_1 / S_1))} = \sqrt{(2 \cdot K_1 \cdot S_1)} \quad \dots \quad (12)$$

ここでヘモグロビンの酸化率 = 酸素飽和度を S_p とすると

$$K_1 = K_{11} \cdot S_p + (1 - S_p) \cdot K_{12} \quad \dots \quad (13)$$

ここで K_{11} は酸化ヘモグロビンの吸収係数を、 K_{12} はヘモグロビンの吸収係数を表している。(13) を (12) に代入すると

$$\kappa_1 = \sqrt{(2(K_{11} - K_{12}) \cdot S_1 \cdot S_p + 2 \cdot K_{12} \cdot S_1)} \quad \dots \quad (14)$$

ここで置換整理する。

$$\kappa_1 = \sqrt{(A_1 \cdot S_p + B_1)} \quad \dots \quad (15)$$

A_1 、 B_1 は定数項のあつまりで

40

50

$$L_n(I)(a_c) = l_n(I_x) - \sqrt{(A_1 \cdot S_p + B_1) \cdot (d_1(a_c))} - \sqrt{(A_1 \cdot S'_p + B_1) \cdot (d_2(a_c))} - \kappa_3 \cdot (d_3(a_c)) \quad (28)$$

ここで κ_3 を考える。ある分光域をとると分光的には変動しない領域があり、

$-\kappa_3 \cdot (d_3(a_c))$ も 分光的には変動しない。そこで

$$X = l_n(I_x) - \kappa_3 \cdot (d_3(a_c)) \quad (29)$$

とおき、

$$a_1 - L_n(I)(a_c) \quad (30)$$

とすれば

$$a_1 = X - \sqrt{(A_1 \cdot S_p + B_1) \cdot (d_1(a_c))} - \sqrt{(A_1 \cdot S'_p + B_1) \cdot (d_2(a_c))} \quad (31)$$

(31) 式は、生体例えば指の透過光を、一般に体動があるときに計測した場合をしめしている。ただし分光的には 1 の波長に対しての測定値を式で表しているだけのものである。 a_1 は透過光の強さを計測し対数をとりその変動部分をとりだしたものであり、 X は光学的な変動と血中外の細胞の変動を表し、 A_1 、 B_1 は 1 波長のヘモグロビンに絡む定数、 S_p は動脈の酸素飽和度を表し、 $(d_1(a_c))$ は動脈の厚さ変動を、 S'_p は静脈の酸素飽和度を表し、 $(d_2(a_c))$ は静脈の厚さ変動を表す。すなわち a_1 は未知数 X 、 S_p 、 $d_1(a_c)$ 、 S'_p 、 $d_2(a_c)$ の 5 個である。したがって独立に (31) とならぶ計測値が 5 個以上得られたらこれら未知数は解くことができる。

20

以上は透過光について展開したものであり、ここで反射光についての展開をする。

(5) 式に対応する反射光 J の一般解は

$$J = B' \cdot e^{x_p(-\kappa y)} \quad (32)$$

である。

図 3 を参照して説明する。

$y=0$ の時の J と $y=d$ の時の J の大小比較は

$$J_0 / J_1 = e^{x_p(\kappa d)} \quad (33)$$

(32) 式は

$$J = J_1 \cdot e^{x_p(\kappa d)} \cdot e^{x_p(-\kappa y)} \quad (34)$$

次に 2 層について考える。

30

$y=d_1$ の時の J と $y=d_2$ の時の J の大小比較は

$$J_1 / J_2 = e^{x_p(\kappa_2 \cdot d_2)} \quad (35)$$

すると

$$J_0 = J_2 \cdot e^{x_p(\kappa_2 \cdot d_2)} \cdot e^{x_p(\kappa_1 \cdot d_1)} \quad (36)$$

同様に 3 層まで考えると

$$J_0 - J_3 \cdot e^{x_p(\kappa_1 \cdot d_1)} \cdot e^{x_p(\kappa_2 \cdot d_2)} \cdot e^{x_p(\kappa_3 \cdot d_3)} \quad (37)$$

ここで、 d_1 は動脈に、 d_2 は静脈に、 d_3 はその他の細胞、 J_3 は測定における光学的な変動要素も含めたものとし、時間的に変動するものを考えて、対数と微分の処理をする。

40

すると (10) 式以後、 e^{x_p} の κ の符号が逆ではあるが透過の場合と同様にとり扱うことができる。結局 (28) 式に相当する式として次式を得る。

$$L_n(J_0)(a_c) = l_n(I_x) + \sqrt{(A_1 \cdot S_p + B_1) \cdot (d_1(a_c))} + \sqrt{(A_1 \cdot S'_p + B_1) \cdot (d_2(a_c))} + \kappa_3 \cdot (d_3(a_c)) \quad (38)$$

ここで I_x は J_3 の変動部分とする

ここで κ_3 を考える。ある分光域をとると分光的には変動しない領域があり、

$-\kappa_3 \cdot (d_3(a_c))$ も 分光的には変動しない。そこで

$$X = -l_n(I_x) + \kappa_3 \cdot (d_3(a_c)) \quad (39)$$

とおき、

50

a₁ = -L n (I) (a c) ----- (40)

とすれば

$$a_1 = X - \sqrt{(A_1 + S_p + B_1) + (d_1(a_c))} - \sqrt{(A_1 + S'_p + B_1) + (d_2(a_c))} - \frac{4}{(4_1)}$$

これは(31)式と同型であり、反射も透過も(31)式を解けばよいことがわかる。模式的には図4のような各層を想定している。

ここで (41)において $d_1(a, c) = \delta$, $d_2(a, c) = \varepsilon : \delta$ として

$$a_1 = X - \sqrt{(A_1 + S_p + B_1)} \cdot \delta - \sqrt{(A_1 + S_p + B_1)} \cdot \epsilon \cdot \delta - \dots - (4.2)$$

をうる。

ここで未知数は X 、 $S p$ 、 δ 、 $S' p$ 、 ϵ の5個である。これを解く為には5個以上の独立式があればよい。(42) 式は1波長の場合であり、続いて2波長、3、4、5の波長の測定で次式がえられる。

$$a_2 = X - \sqrt{(A_2 + S_p + B_2)} + \delta - \sqrt{(A_2 + S'_p + B_2)} + \epsilon + \delta \dots \quad (4.3)$$

$$a_3 = X - \sqrt{(A_3 + S_p + B_3)} + \delta - \sqrt{(A_3 + S'_p + B_3)} + \epsilon + \delta \dots$$

$$a^4 - X - \sqrt{-(A^4 + S p + B^4)} + \delta - \sqrt{-(A^4 + S' p + B^4)} + \epsilon + \delta = 0$$

$$a_5 = X - \sqrt{(A_5 + S_p + B_5)} + \delta - \sqrt{(A_5 + S'_p + B_5)} + \epsilon + \delta \dots \quad (20)$$

46)

$$m_1 = a_1 - a_2, m_2 = a_2 - a_3, m_3 = a_3 - a_4, m_4 = a_4 - a_5 \dots (5)$$

47) 一四七

$$m_1 = \{ -\sqrt{(A_1 + S_p + B_1)} + \sqrt{(A_2 + S_p + B_2)} \} \cdot \delta + \{ -\sqrt{(A_1 + S_p + B_1)} - \sqrt{(A_2 + S_p + B_2)} \} \cdot \delta$$

$$m_2 = \{-\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} + \sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)}\} \cdot \delta + \sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} \cdot \varepsilon \quad (48)$$

$$m_3 = \{-\sqrt{(A_3 \cdot S_{p+B3})} + \sqrt{(A_4 \cdot S_{p+B4})}\} \cdot \delta + \{-\sqrt{(A_3 \cdot S_{p+B3})} - \sqrt{(A_4 \cdot S_{p+B4})}\} \cdot \epsilon \quad (49)$$

$$m_4 = \{-\sqrt{(A_4 \cdot S_p + B_4)} + \sqrt{(A_5 \cdot S_p + B_5)}\} \cdot \delta + \{-\sqrt{(A_4 \cdot S_p + B_4)} + \sqrt{(A_5 \cdot S_p + B_5)}\} \cdot \epsilon + \delta - \dots \quad (50)$$

$$= \sqrt{p + B^4} + \sqrt{A^5 + S}$$

$$m1/m2 = [-\sqrt{(A1 \cdot Sp + B1)} + \sqrt{(A2 \cdot Sp + B2)}] + [-\sqrt{(A1 \cdot S'p + B1)} + \sqrt{(A2 \cdot S'p + B2)}] \cdot \epsilon / [-\sqrt{(A2 \cdot Sp + B2)} + \sqrt{(A3 \cdot Sp + B3)}] + [-\sqrt{(A2 \cdot S'p + B2)} + \sqrt{(A3 \cdot S'p + B3)}] \cdot \epsilon$$

$$m^2/m^3 = [\{ -\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} + \sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} \} + \{ -\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} + \sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_2)} \} \cdot \epsilon] / [\{ -\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} + \sqrt{(A_4 \cdot S_p + B_4)} \} + \{ -\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} + \sqrt{(A_4 \cdot S_p + B_4)} \} \cdot \epsilon] \quad (5.3)$$

$$m^3/m^4 = \left[-\sqrt{-} (A_3 \cdot S_p + B_3) + \sqrt{-} (A_4 \cdot S_p + B_4) \right] + \left[-\sqrt{-} (A_3 \cdot S' p + B_3) + \sqrt{-} (A_4 \cdot S' p + B_4) \right] \cdot \epsilon / \left[-\sqrt{-} (A_4 \cdot S_p + B_4) + \sqrt{-} (A_5 \cdot S_p + B_5) \right] + \left[-\sqrt{-} (A_4 \cdot S' p + B_4) + \sqrt{-} (A_5 \cdot S' p + B_5) \right] \cdot \epsilon \quad (54)$$

ここで(51)、(52)、(53)式の未知数は S_p 、 S'_p 、 ϵ の3個であり解くことができる。これから ϵ を消去する。

$$[m_1] - \sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} + \sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} | - m_2 | - \sqrt{((A_1 \cdot S_p + B_1) + \sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)})} |] / [-m_1] \sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} + \sqrt{50}$$

$$\begin{aligned}
 & (A_3 \cdot S' p + B_3) | + m_2 \{-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1)} + \sqrt{(A_2 \cdot S' p + B_2)} \\
 & |] = [m_2 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S p + B_3)} + \sqrt{(A_4 \cdot S p + B_4)} | - m_3 \{-\sqrt{(A_2 \cdot S p + B_2)} + \sqrt{(A_3 \cdot S p + B_3)} |] / [-m_2 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S' p + B_3)} + \sqrt{(A_4 \cdot S' p + B_4)} | + m_3 \{-\sqrt{(A_2 \cdot S' p + B_2)} + \sqrt{(A_3 \cdot S' p + B_3)} |] ----- (55) \\
 & [m_2 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S p + B_3)} + \sqrt{(A_4 \cdot S p + B_4)} | - m_3 \{-\sqrt{(A_2 \cdot S p + B_2)} + \sqrt{(A_3 \cdot S p + B_3)} |] / [-m_2 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S' p + B_3)} + \sqrt{(A_4 \cdot S' p + B_4)} | + m_3 \{-\sqrt{(A_2 \cdot S' p + B_2)} + \sqrt{(A_3 \cdot S' p + B_3)} |] = [m_3 \{-\sqrt{(A_4 \cdot S p + B_4)} + \sqrt{(A_5 \cdot S p + B_5)} | - m_4 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S p + B_3)} + \sqrt{(A_4 \cdot S p + B_4)} |] / [-m_3 \{-\sqrt{(A_4 \cdot S' p + B_4)} + \sqrt{(A_5 \cdot S' p + B_5)} | + m_4 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S' p + B_3)} + \sqrt{(A_4 \cdot S' p + B_4)} |] ----- (56)
 \end{aligned}$$

ここで

$$S p = 1 - U ----- (57)$$

$$S' p = 1 - U' ----- (58)$$

とおき、 $1 > U > 0$ 、 $1 > U' > 0$ の条件下で $\sqrt{\quad}$ を展開してU、U'の2次項までとる。
例えば

$$\begin{aligned}
 \sqrt{(A \cdot S p + B)} &= \sqrt{\{A(1-U) + B\}} = \sqrt{\{(A+B) - AU\}} = \sqrt{(A+B)} \\
 &\cdot \sqrt{[1 - \{A/(A+B)\}U]} = \sqrt{(A+B)} \cdot \{1 - (1/2) \cdot (A/(A+B)) \cdot U - (1/8) \cdot (A/(A+B))^2 \cdot U^2\} \\
 &----- (59)
 \end{aligned}$$

となる。ここで

$$C - A + B ----- (60)$$

すると(59)式は

$$\sqrt{C} (1 - (1/2) \cdot (A/C) \cdot U - (1/8) \cdot (A/C)^2 \cdot U^2) ----- (61)$$

(54)、(55)、(56)、(57)、(58)式を用いて(52)、(53)式を展開すると次式をうる。

$$\begin{aligned}
 & (\alpha_1 + \beta_1 U + \gamma_1 U^2) / (\alpha_1 + \beta_1 (U') + \gamma_1 (U')^2) = (\alpha_2 + \beta_2 \\
 & U + \gamma_2 U^2) / (\alpha_2 + \beta_2 (U') + \gamma_2 (U')^2) = (\alpha_3 + \beta_3 U + \gamma_3 U^2) \\
 & / (\alpha_3 + \beta_3 (U') + \gamma_3 (U')^2) ----- (62)
 \end{aligned}$$

ここで α_i 、 β_i 、 γ_i はU、(U')の各係数である。

$$\alpha_1 = m_1 (-\sqrt{C} 2 + \sqrt{C} 3) - m_2 (-\sqrt{C} 1 + \sqrt{C} 2) ----- (63)$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= -(1/2) \cdot m_1 \cdot \{(-\sqrt{C} 2) \cdot (A_2/C_2) + \sqrt{C} 3 \cdot (A_3/C_3) \\
 &| ++ (1/2) \cdot m_2 \cdot \{(-\sqrt{C} 1) \cdot (A_1/C_1) + \sqrt{C} 2 \cdot (A_2/C_2)\} \\
 &----- (64)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_1 &= -(1/8) \cdot m_1 \cdot \{(-\sqrt{C} 2) \cdot (A_2/C_2)^2 + \sqrt{C} 3 \cdot (A_3/C_3) \\
 &| ++ (1/8) \cdot m_2 \cdot \{(-\sqrt{C} 1) \cdot (A_1/C_1)^2 + \sqrt{C} 2 \cdot (A_2/C_2)^2\} \\
 &----- (65)
 \end{aligned}$$

$$\alpha_2 = m_2 (-\sqrt{C} 3 + \sqrt{C} 4) - m_3 (-\sqrt{C} 2 + \sqrt{C} 3) ----- (66)$$

$$\begin{aligned}
 \beta_2 &= -(1/2) \cdot m_2 \cdot \{(-\sqrt{C} 3) \cdot (A_3/C_3) + \sqrt{C} 4 \cdot (A_4/C_4) \\
 &| ++ (1/2) \cdot m_3 \cdot \{(-\sqrt{C} 2) \cdot (A_2/C_2) + \sqrt{C} 3 \cdot (A_3/C_3)\} \\
 &----- (67)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_2 &= -(1/8) \cdot m_2 \cdot \{(-\sqrt{C} 3) \cdot (A_3/C_3)^2 + \sqrt{C} 4 \cdot (A_4/C_4) \\
 &| ++ (1/8) \cdot m_3 \cdot \{(-\sqrt{C} 2) \cdot (A_2/C_2)^2 + \sqrt{C} 3 \cdot (A_3/C_3)^2\} \\
 &----- (68)
 \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = m_3 (-\sqrt{C_4} + \sqrt{C_5}) - m_4 (-\sqrt{C_3} + \sqrt{C_4}) \quad (6.8)$$

$$\beta_3 = -(\frac{1}{2}) \cdot m_3 \cdot \{(-\sqrt{C_4}) \cdot (A_4/C_4) + \sqrt{C_5} \cdot (A_5/C_5) \\ + (\frac{1}{2}) \cdot m_4 \cdot \{(-\sqrt{C_3}) \cdot (A_3/C_3) + \sqrt{C_4} \cdot (A_4/C_4)\} \quad (6.9)$$

$$\gamma_3 = -(\frac{1}{8}) \cdot m_3 \cdot \{(-\sqrt{C_4}) \cdot (A_4/C_4)^2 + \sqrt{C_5} \cdot (A_5/C_5) \\ + (\frac{1}{8}) \cdot m_4 \cdot \{(-\sqrt{C_3}) \cdot (A_3/C_3)^2 + \sqrt{C_4} \cdot (A_4/C_4)^2\} \quad (7.0)$$

----- (7.1) 10

ここで

$$C_i = A_i + B_i \quad (7.2)$$

$i = 1, 2, 3, 4, 5$

である。

(6.2) 式より、 $U \neq (U')$ として次式をうる。

$$(\alpha_1 \beta_2 - \alpha_2 \beta_1) + (\gamma_2 \alpha_1 - \gamma_1 \alpha_2) (U + (U')) + (\beta_1 \gamma_2 - \beta_2 \gamma_1) (U \cdot (U')) = 0 \quad (7.3)$$

$$(\alpha_2 \beta_3 - \alpha_3 \beta_2) + (\gamma_3 \alpha_2 - \gamma_2 \alpha_3) (U + (U')) + (\beta_2 \gamma_3 - \beta_3 \gamma_2) (U \cdot (U')) = 0 \quad (7.4)$$

ここで

$$X_1 = U + (U') \quad (7.5)$$

$$X_2 = U \cdot (U') \quad (7.6)$$

とおくと、

$$(\alpha_1 \beta_2 - \alpha_2 \beta_1) + (\gamma_2 \alpha_1 - \gamma_1 \alpha_2) X_1 + (\beta_1 \gamma_2 - \beta_2 \gamma_1) X_2 = 0 \quad (7.7)$$

$$(\alpha_2 \beta_3 - \alpha_3 \beta_2) + (\gamma_3 \alpha_2 - \gamma_2 \alpha_3) X_1 + (\beta_2 \gamma_3 - \beta_3 \gamma_2) X_2 = 0 \quad (7.8)$$

(7.7)、(7.8) の一次の連立方程式を解けば X_1, X_2 がもとまり、 $U, (U')$ は次の2次の方程式の解を求めればよい。

$$t^2 - X_1 \cdot t + X_2 = 0 \quad (7.9) \quad 30$$

以上が一つの解法である。今までの生体の $S_p O_2$ の値を考慮して

$$U' > U$$

t の大きい方を U' に、小さい方を U にして S_p, S'_p をもとめればよい。

以上は一般的な答であるが、測定に際してもう少し注意深くみる必要がある。

(4.1) 式における X に注目する。 X は光学的な構成が動きと生体の血管外の細胞の動きでできるもので、例えば反射式で考えると人の額に発光と受光装置を貼り付けた場合、生体の動きで変化するとは考えにくいか、血管に比べたら無視できると思われる。

すると (4.1) 式は

$$a_1 = \sqrt{(A_1 \cdot S_p + B_1)} \cdot (d_1(a_c)) \quad \sqrt{(A_1 \cdot S'_p + B_1)} \cdot (d_2(a_c)) \quad 40$$

----- (1.4.1)

ここで (1.4.1)において $d_1(a_c) = \delta, d_2(a_c) = \epsilon \cdot \delta$ として
 $a_1 = -\sqrt{(A_1 \cdot S_p + B_1)} \cdot \delta - \sqrt{(A_1 \cdot S'_p + B_1)} \cdot \epsilon \cdot \delta \quad (1.4.2)$

をうる。

ここで未知数は、 $S_p, \delta, S'_p, \epsilon$ の4個である。これを解く為には4個以上の独立式があればよい。(1.4.1) 式は1波長の場合であり、続いて2波長、3、4の波長の測定で次式がえられる。

$$a_2 = -\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} \cdot \delta - \sqrt{(A_2 \cdot S'_p + B_2)} \cdot \epsilon \cdot \delta \quad (1.4.3) \quad 50$$

$$a_3 = -\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} \cdot \delta - \sqrt{(A_3 \cdot S'p + B_3)} \cdot \epsilon \cdot \delta \quad (144)$$

$$a_4 = -\sqrt{(A_4 \cdot S_p + B_4)} \cdot \delta - \sqrt{(A_4 \cdot S'p + B_4)} \cdot \epsilon \cdot \delta \quad (145)$$

この式は先の(48)、(49)、(50)、(51)に相当しており解法としては同様にとり扱える。

ここで $m_1 = a_1$ 、 $m_2 = a_2$ 、 $m_3 = a_3$ 、 $m_4 = a_4$ として δ を消去する。

$$m_1/m_2 = [-\sqrt{(A_1 \cdot S_p + B_1)} - \sqrt{(A_1 \cdot S'p + B_1)} \cdot \epsilon] / [-\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} - \sqrt{(A_2 \cdot S'p + B_2)} \cdot \epsilon] \quad (152)$$

$$m_2/m_3 = [-\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} - \sqrt{(A_2 \cdot S'p + B_2)} \cdot \epsilon] / [-\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} - \sqrt{(A_3 \cdot S'p + B_3)} \cdot \epsilon] \quad (153)$$

$$m_3/m_4 = [-\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} - \sqrt{(A_3 \cdot S'p + B_3)} \cdot \epsilon] / [-\sqrt{(A_4 \cdot S_p + B_4)} - \sqrt{(A_4 \cdot S'p + B_4)} \cdot \epsilon] \quad (154)$$

ここで (151)、(152)、(153) 式の未知数は S_p 、 $S'p$ 、 ϵ の 3 個であり解くことができる。これから ϵ を消去する。

$$[m_1 \{-\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)}\} - m_2 \{-\sqrt{(A_1 \cdot S_p + B_1)}\}] / [-m_1 \{-\sqrt{(A_2 \cdot S'p + B_2)}\} + m_2 \{-\sqrt{(A_1 \cdot S'p + B_1)}\}] = [m_2 \{ -\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} \} - m_3 \{ -\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} \}] / [-m_2 \{ -\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)} \} + m_3 \{ -\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)} \}] \quad (155)$$

$$[m_2 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)}\} - m_3 \{-\sqrt{(A_2 \cdot S_p + B_2)}\}] / [-m_2 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S'p + B_3)}\} + m_3 \{-\sqrt{(A_2 \cdot S'p + B_2)}\}] = [m_3 \{\sqrt{(A_4 \cdot S_p + B_4)}\} - m_4 \{\sqrt{(A_3 \cdot S_p + B_3)}\}] / [-m_3 \{-\sqrt{(A_4 \cdot S_p + B_4)}\} + m_4 \{-\sqrt{(A_3 \cdot S'p + B_3)}\}] \quad (156)$$

ここで再度

$$S_p = 1 - U \quad (57)$$

$$S'p = 1 - U' \quad (58)$$

とおき、 $1 > U > 0$ 、 $1 > U' > 0$ の条件下で $\sqrt{\cdot}$ を展開して U 、 U' の 2 次項までとる。

例えば

$$\begin{aligned} \sqrt{(A \cdot S_p + B)} &= \sqrt{|A(1-U) + B|} = \sqrt{|(A+B) - AU|} = |\sqrt{(A+B)} \\ &\quad | \cdot \sqrt{[1 - |A/(A+B)|U]} = |\sqrt{(A+B)}| \cdot |1 - (1/2) \cdot (A/(A+B)) \cdot U - (1/8) \cdot (A/(A+B))^2 \cdot U^2| \end{aligned} \quad (59)$$

となる。ここで

$$C = A + B \quad (60)$$

すると (56) 式は

$$\sqrt{C} (1 - (1/2) \cdot (A/C) \cdot U - (1/8) \cdot (A/C)^2 \cdot U^2) \quad (61)$$

(54)、(55)、(56)、(57)、(58) 式を用いて (152)、(153) 式を展開すると次式をうる。

$$\begin{aligned} (\alpha_{1,0} + \beta_{1,0} U + \gamma_{1,0} U^2) / (\alpha_{1,0} + \beta_{1,0} (U') + \gamma_{1,0} (U')^2) &- 40 \\ (\alpha_{2,0} + \beta_{2,0} U + \gamma_{2,0} U^2) / (\alpha_{2,0} + \beta_{2,0} (U') + \gamma_{2,0} (U')^2) = \\ (\alpha_{3,0} + \beta_{3,0} U + \gamma_{3,0} U^2) / (\alpha_{3,0} + \beta_{3,0} (U') + \gamma_{3,0} (U')^2) \end{aligned} \quad (162)$$

ここで α_i 、 β_i 、 γ_i は U 、 (U') の各係数である。

$$\alpha_{1,0} = m_1 (-\sqrt{C} 2) - m_2 (-\sqrt{C} 1) \quad (163)$$

$$\beta_{1,0} = -(1/2) \cdot m_1 \cdot \{(-\sqrt{C} 2) \cdot (A_2/C 2)\} + |(1/2) \cdot m_2 \cdot \{(\sqrt{C} 1) \cdot (A_1/C 1)\}| \quad (164)$$

$$\gamma_{1,0} = -(1/8) \cdot m_1 \cdot \{(-\sqrt{C} 2) \cdot (A_2/C 2)^2\} + |(1/8) \cdot m_2 \cdot \{(\sqrt{C} 1) \cdot (A_1/C 1)^2\}| \quad (165)$$

$$2 \cdot |(-\sqrt{C_1}) + (A_1/C_1)^2| \quad (165)$$

$$\alpha_{2,0} = m_2 (-\sqrt{C_3}) - m_3 (-\sqrt{C_2}) \quad (166)$$

$$\beta_{2,0} = -(1/2) \cdot m_2 \cdot \{(-\sqrt{C_3}) \cdot (A_3/C_3)\} + (1/2) \cdot m_3 \cdot \{(-\sqrt{C_2}) \cdot (A_2/C_2)\} \quad (167)$$

$$\gamma_{2,0} = -(1/8) \cdot m_2 \cdot \{(-\sqrt{C_3}) \cdot (A_3/C_3)^2\} + (1/8) \cdot m_3 \cdot |(-\sqrt{C_2}) \cdot (A_2/C_2)^2| \quad (168) \quad 10$$

$$\alpha_{3,0} = m_3 (-\sqrt{C_4}) - m_4 (-\sqrt{C_3}) \quad (169)$$

$$\beta_{3,0} = -(1/2) \cdot m_3 \cdot \{(-\sqrt{C_4}) \cdot (A_4/C_4)\} + (1/2) \cdot m_4 \cdot \{(-\sqrt{C_3}) \cdot (A_3/C_3)\} \quad (170)$$

$$\gamma_{3,0} = -(1/8) \cdot m_3 \cdot \{(-\sqrt{C_4}) \cdot (A_4/C_4)^2\} + (1/8) \cdot m_4 \cdot |(-\sqrt{C_3}) \cdot (A_3/C_3)^2| \quad (171)$$

ここで

$$C_i = A_i + B_i \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (172) \quad 20$$

である。

(162) 式より、 $U \neq (U')$ として解くことができる。あとは 5 波長の場合と同型なので解法は省略する。

次に 2 つの波長を用いて 4 つの波長と同等の効果が得られる一つの解法をしめす。

従来のパルスオキシメーターの測定原理は (141) において

$$d_2(a_c) = 0$$

即ち静脈は動かないと考えていた。すると

$$\epsilon = 0$$

(142) 式は

30

$$a_1 = (-\sqrt{(A_1 + S_p + B_1)}) \cdot \delta \quad (242)$$

ここで S_p と δ が未知数であり、これを解く為には

2 個以上の独立式があればよい。(241) 式は 1 波長の場合であり、統いて 2 波長の測定で次式がえられる。

$$a_2 = (-\sqrt{(A_2 + S_p + B_2)}) \cdot \delta \quad (243)$$

これを解くには δ を消して

$$(a_1/a_2)^2 = (A_1 + S_p + B_1) / (A_2 + S_p + B_2) \quad (243)$$

(243) 式から S_p を求めればよい。

$$S_p = ((a_1/a_2)^2 B_2 - B_1) / (A_1 - (a_1/a_2)^2 A_2) \quad (244) \quad 40$$

問題はこの方式だと体動時に静脈が動き正確な S_p 値が測定できることである。

そこで

(141) 式を次のように表す。

$$a_1 = (-\sqrt{(A_1 + S_p + B_1)}) \cdot \delta + N \quad (245)$$

また a_2 に対しては

$$a_2 = (-\sqrt{(A_2 + S_p + B_2)}) \cdot \delta + h \cdot N \quad (246)$$

と表す。

また (142)、(143) より h は

$$h = \sqrt{(A_2 + S_p + B_2)} / \sqrt{(A_1 + S_p + B_1)} \quad (246)$$

S_p は静脈の酸素飽和度であり変動は僅かと考えたらよい。今一定として (245)、

(246) からNを求めるを考える。Nがわかれば(245)、(246)のa1、a2からN、h・Nを引きS_pを求めることができる。つまり2つの波長の出力からN、h・Nを用いてS_pを求めることができる。

その方法を示す。ここで(245)、(246)の状態から時系列上、次に状態が変化したとする。

ただしS_pの変化はδ、Nにくらべて緩やかにかわるとする。

すると

$$\Delta a_1 = -(\sqrt{(A_1 + (S_p + B_1))}) \cdot (\Delta \delta) + \Delta N \quad \text{--- (247)}$$

またa2に対しては

$$\Delta a_2 = -(\sqrt{(A_2 + (S_p + B_2))}) \cdot (\Delta \delta) + h \cdot \Delta N \quad \text{--- (248)} \quad 10$$

(247)、(248)のΔa1はa1と次の状態の差を、Δa2はa2と次の状態の差を表している。だから未知数はΔδとΔNの2個であり解くことができる。ΔNについてはa1の時Nであったものが次ぎの状態ではN+ΔNとなったとしている。

次の状態は

$$a_1 + \Delta a_1 = -(\sqrt{(A_1 + (S_p + \Delta S_p) + B_1)}) \cdot (\delta + \Delta \delta) + (N + \Delta N) \quad \text{--- (249)}$$

$$a_2 + \Delta a_2 = -(\sqrt{(A_2 + (S_p + \Delta S_p) + B_2)}) \cdot (\delta + \Delta \delta) + h \cdot (N + \Delta N) \quad \text{--- (250)} \quad 20$$

ここでS_p、Nは既知とする。なぜならN=0のときをa1の状態とできるからである。Nのない状態のa1の波形パターンを必需数メモリーしておき、現実のa1の波形との相関をとるとか、周期性を測定するとかしてNの存在のチェックは可能である。だから最初はN=0、次はN=0+ΔNとなる。その次からは新しいNはΣΔNをすることによりわかる。

(249)、(250)は(S_p+ΔS_p)と(δ+Δδ)が未知数なので解くことができる。その答を夫々あたらしくS_p、Δとすれば(246)、(247)がまたスタートの式となる。

またhについては一定としてあつかってきたが(246)で示すようにS'_pの値で変化する。そこで適当なS_pの関数として例えば実験的に

$$S' p = C_0 + C_1 \cdot S_p \quad \text{--- (251)} \quad 30$$

としてC₀、C₁をもとめその都度変更してもよい。

これから解るように2つの波長であっても4つの波長と実効的には同じ効果が期待できることをしめた。

次にセンサーにからむ発光、受光、信号伝達等の骨子の説明をする。

上述のように独立な酸素飽和度の絡み計測値を得るために、LEDなどの多素子の発光が必要となる。発光部が生体の接着部にある場合、発光部の電力供給線が多線となり、そのケーブルが持つきついケシブルとか軽量とかの生体とのなじみ易さから離れて行く。そこで一つは図5にしめすように例えばLEDの電源線を2本とし多発光素子を順次時系列的にスイッチング機能により切換えて発光させ。例えば切換えの部分をCPUのポートにしてプログラムで順次ポートを切り替えて行く。CPUへは例えば5図のように供給電源にCPUが接続しており、切換えループプログラムにはいるようにトリガーになる例えば0から立ち上がるパターンを電源供給にいれておく。するとくり返して順次時系列的に各LEDが点灯(JNT)する。重要なことは電力にCPUトリガ信号をいれておくということである。またトリガ信号に同期させて受光部からの信号を取り出せば各波長の信号がとりだすことができ、各波長ごとの各独立式がえられる。

次の段階では電源供給ケーブルと受光ケーブルが問題となる場合を想定して無線の場合を図10に示す。これは説明のための図であり重要なことは無線にすることで例えば電源供給はマイクロ波を用い、受光信号は通常のMHzでもよいし赤外光でもよい。勿論どちらかは有線という折衷もかんがえられる。

次に発光部の改善として積分球光源応用の場合を説明する。積分球光源は一般的には図7に示すように球形をしており内部が一様な拡散（必ずしも完全拡散である必要はない）反射をしていて一方に入射口があつて他方に射出口がある構成になっている。入射口に対し光を入射させ、その光が直接射出口に出ないよう内部に遮蔽板をもうけ内部で拡散反射を繰り返して射出口から射出光として光ができる。入射光は必ずしもそとからでなくともよく、重要なことは直接に射出口に出て行かないことである。その場合射出口の光の性質は半空間に対して完全拡散の一様な強度の面光源となる。また内部の任意部位では全空間に対して完全拡散の一様な照射光をうける。この性質を応用する。図8では一つは射出口のほぼ中ほどに図に示すように透明体たとえば赤外光も通すガラス板をいれ、その中に測定部位、例えば足をいれる。すると測定部位が多少動こうとも動くことによる測定部位に対する光学的な変動はなくなる。他の例は図9に示すように半球にして実効的に同じ効果をあげている例である。この場合は透明板ではなく積分球反射と等価の拡散板（DIB）をもちいる。積分球あるいは積分球等価の場合は光源は生体に対し非接触となる。これらの積分球に入射される光源は各LEDで分光的各LEDの分光域をカバーする一個の受光素子でもよいし、その逆に受光素子は各PDで、分光的各PDの分光域をカバーする一個の受光素子でもよい。

図11は更に実効的に積分球射出光と等価な面光源の例をしめす。構成は例えば平面の一辺に発光部を設け拡散手段を介して光導体に発光させ、光導体の一面には反射手段を設け他面に対して光を導き、射出面に拡散手段を設ける。また光導体、拡散手段、反射手段などにフレキシブルな部材を用い、生体面との接触がスムーズにできるようにする。また発光部に各波長の発光源を有し、受光部に各発光源の波長域を含む感度を有する一個の素子をもつけるとして説明をしてきたが、その逆であってもよい。即ち受光部に各波長の感度をもつ各受光素子を有し、発光部に各受光素子の波長域を含む発光域を有する一個の素子をもうけてもよい。

【発明を実施するための最良の形態】

図12以下本発明装置の説明をする。図12は本発明の発光一受光センサーLDSを額の測定部位P（額の略中央部）に取り付けた模式図である。LDSは円形となっているが必ずしも円形の必要はない。その中に必要な発光部、受光部が配置されておればよい。ケーブルは直線的に描写しているが、フレキシブルなもので内部には発光一受光センサーに必要な信号線が入っていればよい。ケーブルを介して信号が必要な演算等をする部署（ここでは図示されていない）に伝達される。

図13はLDSの発光部ALと受光部BDを模式的に示したものである。ALはここでは5個の分光波長で個々に構成されるLEDであつて、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 の分光波長の光を発している。その光は測定部位PのP1（点でも面でもよい）から入射して光路LPを通ってP2から外へ出て行く。BDはそれらを受光する受光部である。LDSは主にMLとBDで構成され、それらに必要な信号等はケーブルLで伝達される。図14はAL、BDにおいて各分光波長の入射光路が一つの場合の模式図である。ALにおいて各LEDから発せられた λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 の分光波長の光をダイクロイックミラー等で合成して測定部位に入れ、測定の光路を通った後、外部に出てくる。それをBDの受光部で受光する。時系列的に各LEDが発光する場合はBDの受光部は分光する必要はない、が同時発光或いはプロードな分光波長をもっている場合は分光する必要がある。図14のBDは分光する場合を模式的に示したもので、ダイクロイックミラー等から構成される。

図15はLDSの中の各LED、あるいは受光部の配置をしめた模式図である。一つは各LEDの分光波長の光を図示している各 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 を周辺から入射させ、中央から合成した光をとる。或いは、逆に中央から合成した光もしくはプロードな光を入射させ、周辺から各分光波長の光を取り出してよい。或いはプロードな光を中央を含むいずれから入れ、いずれかから取り出ししその後分光波長に分解する。或いは分光波長された光をいずれかの部位から入れ、合成された光をいずれからとりだしてもよい。

10

20

30

40

50

図16は本発明の構成を機能ブロックで示したものである。Aから発せられた光は被測定部を通ってBDで受光される。BDからの信号はA/D変換等の機能(A/DET)を経て演算等の機能(ENTER)にはいる。これらの機能はメインの機能を示したもので、細部の機能については(27)式から(79)式までの展開をおこない、アナログ回路の方が有利な場合はアナログ回路を用いて細部の機能を果たす。特に演算等の機能では、動脈の血中酸素飽和度SpO₂、静脈の血中酸素飽和度S'_pO₂、脈波δ、動脈の静脈への影響度εを算出する。ε・δから静脈の脈波を算出してもよい。これら算出したものから表示(DISP)、あるいは信号の出力等必要に応じて出力する。駆動等の機能(KDET)ブロックはALの回路を駆動するためのものであるが、一方では演算等の機能ブロック、或いはA/D変換等の機能ブロックからの信号をフィードバック信号として受け、適切な算出値がえられるようにALへの信号をコントロールしている。またLD1、LD2、LD3、LD4、LD5、LD6の伝達部分は有線であっても、無線であってもよい。特にLD1、LD6が無線の場合はAL、BD内に必要な電源を確保する。
以上は5波長に対しての本発明例で、4波長にたいしての、(142)式から(172)式までの対応は図13、図14、図15、図16の5波長から1波長を消したものができる。従って説明は省く。

また2波長に対しての、(242)式から(251)式までの対応は図13、図14、図15、図16の5波長から3波長を消したものができる。従って説明は省く。

図10は無線でセンサーと信号処理部の信号のやり取りをしめした模式図である。

図5、図6は多発光素子を順次点灯(JNJT)させ駆動用の配線を簡略化させたもの。本発明の模式図である。これはまた多受光素子の順次起動に対しても用いられることがある。図6で重要なことは電源供給にCPUあるいは切換えスイッチがスタートする信号をいれておくことである。また図6には別途メモリー機能があつてセンサーに固有な分光特性、例えば(42)、(43)、(44)、(45)、(46)式の書く未知数の係数等をメモリーしておき、メモリーの部位は生体に負担を掛けないようにできるだけ生体からはなしておく。ケーブルに繋がる各機能とケーブルはコネクター方式を採用する。それによりセンサーの故障時での対応が簡単になる。

図17はALの発光LED4個の印加電圧の掛けかたの一例である。IEをゼロにして、L_a1を-にするとλ1が発光し+にするとλ2が発光し、L_a2を-にするとλ3が発光し+にするとλ4が発光する。従ってL_a1とL_a2とを交互に印加させ、印加の極も順次変えていけば各LEDは順次点灯する。それにより3芯線で各LEDの点灯が可能となる。

図19は、発光LED4個の場合で、L_a1、L_a2、L_a3、L_a4の印加に従って各LEDを個々に制御できるようにしたものである。

図8、図9は積分球応用の非接触の測定部位照明の装置例である。

図11は平面照明の装置例である。重要なことは、フレキシブルで、実効的には積分球と等価な照明効果をもつということである。

図18は受光部回路例の説明図である。受光素子としてAPD(アバランシエ、フォトダイオード)を用いる場合の回路である。APDは逆バイアス電圧を印加することによりPD(フォト、ダイオード)に比べ数十倍から百数十倍の出力の増大となる特性を有する。この特性を応用して今まで感度が足りなく問題となっていた測定部位を測定可能にする。回路は逆印加電圧BV_B、EVAの電位に直列に抵抗R1、R3が結線され、R3の電位からコンデンサーCDを介してか、又CDを介さないでオペアンプOPに結線されフィードバック抵抗R2で増幅され、出力V_Oが得られる。今この回路で、切換えSW2がBV_Bに、SW2に連動して切換えSW1がCD側に結線されているとすると、λがAPDに入射するとPDに比べ数十倍から百数十倍の電流がえられその内交流成分のみがOPに入力し、交流成分の何倍かしたものがV_Oとして得られる。この交流成分の意味を考える。

(27)式から

$$I = I_g \cdot I_x \cdot e \times p (-\sqrt{(A_1 + S_p + B_1)} \cdot (d_1(d_c) + d_1(a_c))) \quad 50$$

$$\cdot \exp(-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot (d_2(d_c) + d_2(a_c))}) \cdot \exp(-\kappa_3 \cdot (d_3(d_c) + d_3(a_c))) \quad (27)$$

ここで(27)式のIxと $\exp(-\kappa_3 \cdot (d_3(d_c) + d_3(a_c)))$ を次のように置く。

$$I_x - \exp(-3\kappa \cdot (d_3(d_c) + d_3(a_c))) = \exp(-\kappa_3 \cdot (d_3(d_c) + d_3(a_c)) + \exp(\ln(I_x))) \quad (300)$$

すると

$$I = Ig \cdot \exp(-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot (d_1(d_c) + d_1(a_c))}) \cdot \exp(-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot (d_2(d_c) + d_2(a_c))}) \cdot \exp(-\kappa_3 \cdot (d_3(d_c) + d_3(a_c)) + \exp(\ln(I_x))) \quad (301)$$

このIの微分成分をAC成分と考えて

$$\Delta I = Ig \cdot \exp(-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot d_1(d_c)}) \cdot \exp(-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot d_2(d_c)}) \cdot \exp(-\kappa_3 \cdot (d_3(d_c) \cdot ((-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot d_1(a_c)}) + (-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot d_2(a_c)}) + (\kappa_3 \cdot d_3(a_c)) \cdot \exp(\ln(I_x)))) \quad (302)$$

この ΔI に比例したものがVOである。

一方、DC成分は、SW2とSW1を切り替えた場合のVOのある時間平均をとればよい。
ここではACとDCのVOの各比例定数は1として

(302)式をIのDC成分(平均)で割ると

$$\Delta I / I d_c = ((-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot d_1(a_c)}) + (-\sqrt{(A_1 \cdot S' p + B_1) \cdot d_2(a_c)}) + X) \quad (303)$$

ここで

$$X = (\kappa_3 \cdot d_3(a_c) + \exp(\ln(I_x))) \quad (304)$$

(303)式は(31)式と同型になりVOからの信号で最終の答まで求められることがわかる。即ち図18に示す回路により従来のPDより感度のいいAPDを用いて $a\lambda$ を得て必要な因子を求めることができる。平均値をとるときはコンデンサーを外すことが重要であって必要ならR2とは別のOPのフィードバック抵抗としてもよいし、必要ならBVAであってもよい。

またAPDの増幅率は入射光の分光波長がことなればことなってくる場合もある。その補正是印加電圧を可変にすることにより可能となる。印加電圧の電圧により増幅率がかかるという特性を応用する。あらかじめ分光的な増幅率が分かっている場合は、一定になるよう、あらかじめシミュレーションした電圧を自動或いは手動で与えてやればよい。

【発明の効果】

本発明によればヘモグロビンの吸収分光波長域の5個、或いは4個、或いは2個の分光波長の生体信号を得て、胎動ノイズを除去し、生体に負担をかけないで、動脈中の酸素飽和度、静脈中の酸素飽和度、動脈中の脈動変化量、酸素飽和度静脈の脈動変化量等を算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる測定原理の説明図

【図2】本発明にかかる測定原理の説明図

【図3】本発明にかかる測定原理の説明図

【図4】本発明にかかる測定原理の説明図

【図5】本発明にかかる測定検出部の発光部の説明図

【図6】本発明にかかる測定検出部の発光部の説明図

【図7】本発明にかかる測定検出部の発光部の説明図

【図8】本発明にかかる測定検出部の発光部の説明図

【図 9】本発明にかかる測定検出部の発光部の説明図

【図 10】本発明にかかる機能ブロックの説明図

【図 11】本発明にかかる測定検出部の発光部の説明図

【図 12】本発明にかかる測定検出部の説明図

【図 13】本発明にかかる測定検出部の発光部と受光部の説明図

【図 14】本発明にかかる測定検出部の発光部と受光部の説明図

【図 15】本発明にかかる測定検出部の説明図

【図 16】本発明にかかる機能ブロックの説明図

【図 17】本発明にかかる測定検出部の発光部の説明図

【図 18】本発明にかかる測定検出部の受光部の説明図

【図 19】本発明にかかる測定検出部の発光部の説明図

10

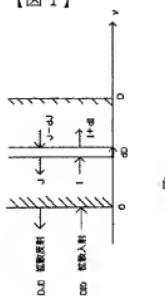
【符号の説明】

I 0	1層に入る前方光強度	
J 0	1層から出る後方光強度	
ϵ	動脈の脈波の静脈への影響度	
Δ	動脈の脈波の変化部分	
L D S	発光-受光センサー	
P	測定部位	
L	ケーブル	
A L	発光部	20
B D	受光部	
λ	分光波長	
λ 1	分光波長	
λ 2	分光波長	
λ 3	分光波長	
λ 4	分光波長	
λ 5	分光波長	
P 1	入射部位	
P 2	射出部位	
L L P	光路	30
I E	印加端子	
L α 1	印加端子	
L α 2	印加端子	
L α 3	印加端子	
L α 4	印加端子	
L D 1	伝達ライン	
L D 2	伝達ライン	
L D 3	伝達ライン	
L D 4	伝達ライン	
L D 5	伝達ライン	40
L D 6	伝達ライン	
A / D	アナログ/デジタル変換機	
R 1	抵抗	
R 2	抵抗	
R 3	抵抗	
A P D	アバランシエ・フォト・ダイオード	
B V A	B V A Vの印加電源	
B V B	B V B Vの印加電源	
C D	コンデンサー	
O P	作動増幅器	50

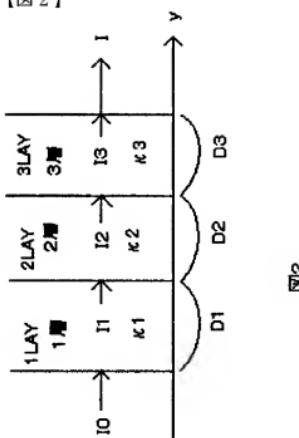
V O	O P の出力	
S W 1	切換えスイッチ	
S W 2	切換えスイッチ	
S Y C	連動	
D J 0	拡散反射	
D J 0	拡散入射	
y	深さ方向 y 軸	
J	後方光強度	
I	前方光強度	
d J	微小後方散乱	10
d I	微小前方散乱	
D	ある層の厚さ	
d D	深さ方向の微小厚さ	
1 L A Y	1層	
2 L A Y	2層	
3 L A Y	3層	
I 1	2層に入る前方光強度	
I 2	3層に入る前方光強度	
I 3	3層から出る前方光強度	
κ 1	1層の光学定数	20
κ 2	2層の光学定数	
κ 3	3層の光学定数	
D 1	1層の厚さ	
D 2	2層の厚さ	
D 3	3層の厚さ	
J 1	2層から出る後方光強度	
J 2	3層から出る後方光強度	
J 3	3層に入る後方光強度	
S W	スイッチ	
S C B	センサーケーブル	30
K D K	駆動回路	
S S F	信号処理	
J S	受光素子	
H K 1	受光素子 1	
H K 2	受光素子 2	
H K 3	受光素子 3	
H K 4	受光素子 4	
H K 5	受光素子 5	
J N J T	順次点灯	
M E R	メモリー	40
C P U	コンピューター	
T R G	トリガ信号	
T R S	トリガ処理	
S R I	処理機能	
N I 0	入射光	
N I M	入射口	
S D B	遮蔽板	
D I L	拡散光	
S H K	積分球	
D I M	射出口	50

D I B	拡散板
D I O	射出光
T P B	透明体
S H E	積分等価拡散光
H S S	発信装置
H K B	発光部
J K B	受光部
A / D	アナログデジタル変換
H S B	発信部
K S K	拡散面光源
K S M	拡散手段
H N M	反射手段
K D T	光導体
K G N	光源
A / D E T	A / D 変換等機能
E N E T	演算等機能
K D E T	駆動等機能
D I S P	表示
S p O 2	動脈血酸素飽和度
S' p O 2	静脈血酸素飽和度
δ	動脈脈波
ϵ	動脈の静脈への影響度

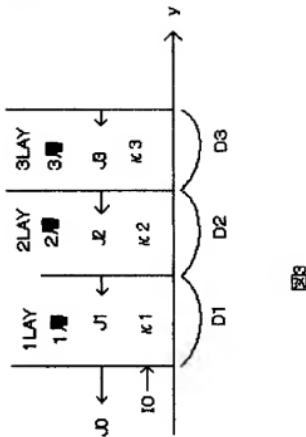
【図 1】



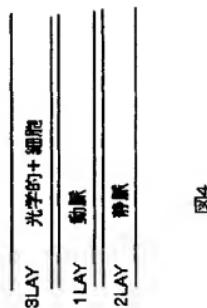
【図 2】



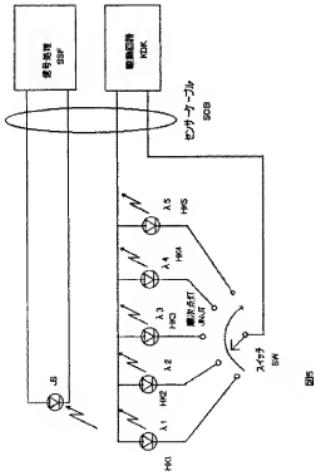
【図3】



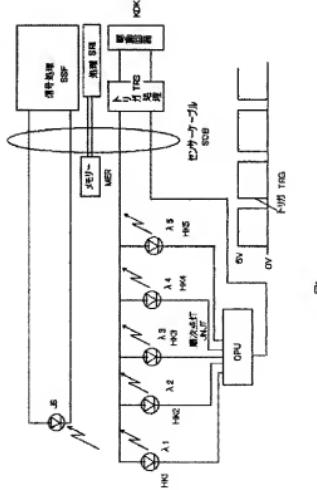
【図4】



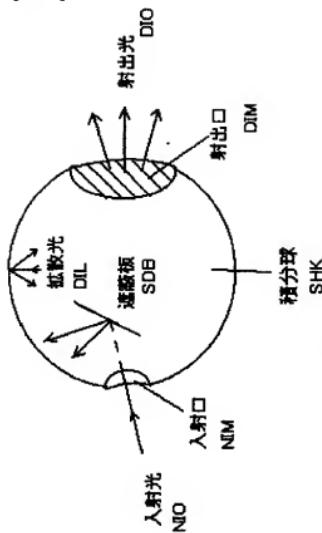
【四】



【图 6】



【図 7】



【図 8】

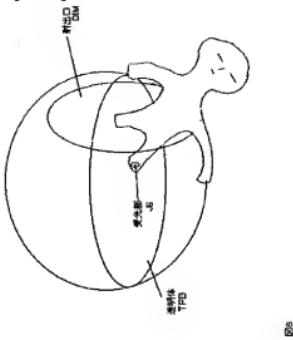
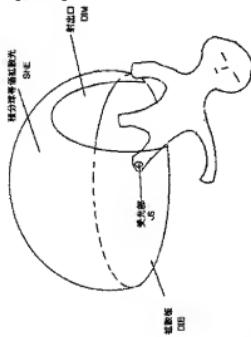


図7

【図 9】



【図 10】



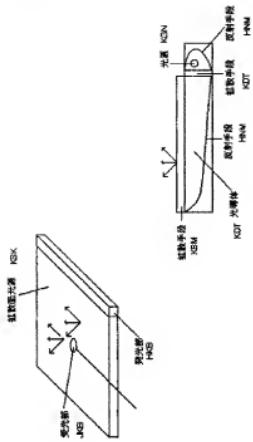
図8

図9

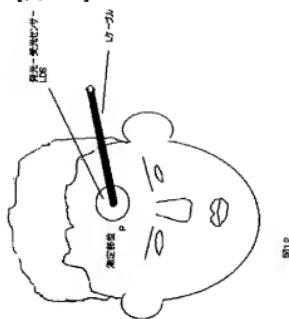


図10

【図 1.1】



【図 1.2】



【図 1.3】

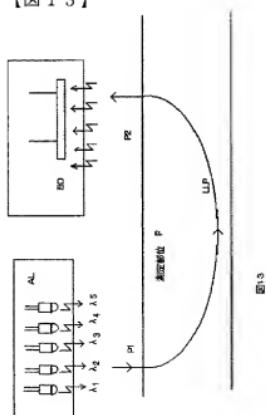


図1.3

【図 1.4】

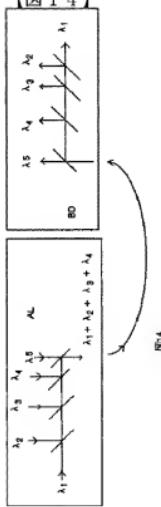


図1.4

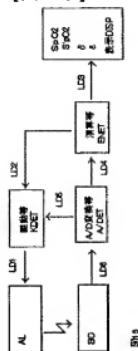
図1.5

【図15】



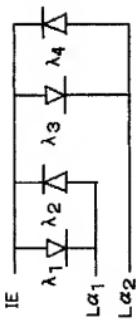
5

【図16】



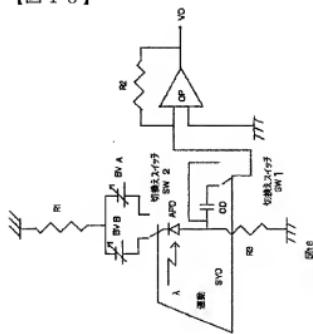
四

【图 17】



17

【图 18】



【図19】

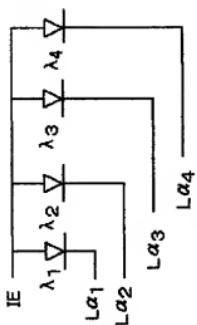


図19